



TITLE:

# NONLINEAR INTERACTIONS OF ALTERNATING ELECTRIC FIELD WITH PLASMAS( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Okamoto, Masao

---

CITATION:

Okamoto, Masao. NONLINEAR INTERACTIONS OF ALTERNATING  
ELECTRIC FIELD WITH PLASMAS. 京都大学, 1971, 工学博士

ISSUE DATE:

1971-09-23

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/213733>

RIGHT:

氏 名	岡 本 正 雄
	おか もと まさ お
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 276 号
学 位 授 与 の 日 付	昭 和 46 年 9 月 23 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 原 子 核 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	<b>NONLINEAR INTERACTIONS OF ALTERNATING ELECTRIC FIELD WITH PLASMAS</b> (交番電場とプラズマの非線型相互作用)

論文調査委員 (主 査) 教 授 宇 尾 光 治 教 授 卯 本 重 郎 教 授 板 谷 良 平

### 論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、外部から加えた交番電場とプラズマの非線型相互作用に関する理論的研究をまとめたもので、序論、3章および付録から成っている。

まず序論では、プラズマ物理学において重要な課題となっている非線型過程、特に外場とプラズマの非線型相互作用、に関する研究の概観と、著者自身による研究の位置付けが示されている。

第1章は、外部励振をうけた電子サイクロトロン高調波の崩壊不安定について論じたもので、著者は非線型 Vlasov 方程式の解を、励振波の振幅のべき級数に展開し、2次の項までとってつぎのような結果を得ている。(1) Maxwell 分布に従うプラズマにおいては、周波数  $\omega_0$ 、波数  $k_0$  の単一なサイクロトロン高調波が崩壊条件  $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$ ,  $k_0 = k_1 + k_2$  のもとで、2つのモード  $\omega_1(k_1)$  および  $\omega_2(k_2)$  に崩壊する。(2) リング分布に従うプラズマでは、崩壊条件  $\omega_0 = \omega_1 \sim \omega_2$ ,  $k = k_1 \sim k_2$  のもとで、互に結合した負エネルギー波  $\omega_1(k_1)$  と正エネルギー波  $\omega_1(k_2)$  の組に崩壊する。(3) これらの崩壊不安定の成長率については、数値解析の結果が図に示されている。

第II章は、プラズマの密度勾配によって駆動されるマイクロ不安定、すなわち均一でないプラズマにおける無衝突ドリフト波、散逸性ドリフト波およびドリフト・サイクロトロン波による不安定に対する、磁場に並行に加えたような高周波電場の影響について論じたものであって、つぎのような結論が得られている。(1) 加えた高周波電場の周波数がある範囲にあると、その影響でドリフト波の周波数が高い方へずれる。このような周波数範囲に外場があるときは、無衝突ドリフト波不安定は抑制される。同時に、磁場方向の波数が有限な、粒子・波動共鳴の影響を受けないモードのドリフト・サイクロトロン不安定も抑えられる。(2) 散逸性ドリフト波が存在する場合には、不安定な波と安定な波とが対になっており、ような外部高周波電場を加えると前者を安定化することができる。しかしこの場合、前者を安定化する条件が満されると、後者は逆に不安定になってしまう。

第III章では、外部から励振されたイオン音波と密度勾配によって駆動されたドリフト波との非線型結合

についての研究が述べられている。高周波交番電場とドリフト波の相互作用を論ずる場合にしばしば用いられる、磁場の方向に電場が一様であるという近似は、実験の状況にはよくあてはまらない。そこで著者は、外から加えた交番電場によってプラズマ中に、イオン音波状の外乱（摂動）が生ずるとし、外乱の周波数がドリフト波の周波数に近い場合について、つぎのような結果を得ている。(1) 外部からの励振の強さを適当に選べば、ドリフト波不安定が抑止される。ドリフト波の減衰がおこるのは、主として周波数変化によるのであって、ドリフト波とイオン音波の非線型結合による非線型 Landau 減衰の効果は著しく小さい。これらの結果と実験の比較についても触れている。(2) 前項の研究のために導いた一般式を用いて、不均一プラズマにおける無衝突ドリフト波のパラメトリック励振について論じ、外部から励振されたドリフト波の約  $1/2$  の周波数のドリフト波が励起され得ることを、例題によって示している。

付録は、本文中で省略した式の誘導を詳しく示したものである。

### 論文審査の結果の要旨

プラズマ中の波動については、モード間の結合、振幅の飽和、高調波の発生などの非線型現象が見られる。そのため、外部からの励振によって、プラズマ中の振動の周波数や減衰係数が変化したり、ドリフト波の  $1/2$  調波や混合波のパラメトリック励起がおこる。

磁化された熱いプラズマでは、密度、温度および磁場の勾配による不均一性が避けられない。このような不均一性が原因となって生ずるドリフト波不安定は、磁場を横切る異常拡散と関係があると考えられており、つよい関心がもたれている。著者は、外部から加えた交番電場とプラズマの非線型相互作用について、プラズマにおける非線型過程の理解を深め、さらに種々の不安定性の抑止効果を明らかにするという観点から理論的研究を進め、相当の成果を得ている。それらのうち、主要なものを列挙すればつぎの通りである。

(1) 電子サイクロトロン高調波（いわゆる Bernstein モード）の崩壊条件を、プラズマが Maxwell 分布に従う場合の Vlasov 方程式の解を求めることによって理論的に導いた。一方、プラズマがリング分布に従う場合には、負エネルギー波と正エネルギー波の結合によって、従来知られていない崩壊不安定が起ることを示し、その崩壊条件を導いた。またそれらの不安定の成長率を数値的に示した。

(2) 熱いプラズマの閉じ込めの際に重要な、ドリフト波の安定化については、低周波の無衝突および散逸性ドリフト波が磁場に並行に加えた一様な高周波電場によって抑制されることが従来から知られている。著者の研究はこれをより高周波のドリフト波に拡張したものであって、密度勾配に伴う無衝突ドリフト不安定と同時に、ドリフト・サイクロトロン不安定を抑制し得ることを示した。また、散逸性ドリフト波は、不安定なモードと安定なモードが対になってお、前者を安定化すると後者は逆に不安定になることを示した。

(3) ドリフト波の周波数に近い、従って比較的低周波の交番電場によってドリフト不安定を抑止できるという実験的観察がある。著者は、外部電場によってプラズマ中にイオン音波が励振されると考え、一般的分散式を求め、それに基づいて、安定化の機構を詳しく検討した。その結果、安定化は主としてドリフト波の周波数変化によるのであって、非線型 Landau 減衰の効果は小さいことが見出された。

(4) 無衝突ドリフト波を外部から励振すると、その周波数の約 $1/2$ のドリフト波のパラメトリック励起が起り得ることを示した。

以上述べたように、この論文は、プラズマにおける非線型現象に関する理論に多くの知見を加え、ドリフト波不安定の安定化の機構を明らかにしたものであって、学術上実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。